

الباب الأول

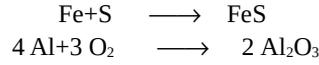
علم المتفجرات

تعريف المتفجرات

هي عبارة عن مركبات أو خلائط كيميائية قادرة على التحول إلى كمية كبيرة من الغازات ذات حرارة عالية خلال فترة زمنية قصيرة جدا وتأثير عامل خارجي محدثة ضغطا متزايدا ينتج عاملا ميكانيكا يسبب التدمير.

التفاعلات الانفجارية

الشرط المهم لحدوث التفاعل الانفجاري هو السرعة الكبيرة للتحول من الحالة الصلبة للمواد المتفاعلة إلى الحالة الغازية وانتشارها مع وجود الحرارة المصاحبة لها في زمن قصير وشرط أساسي آخر هو خروج الغازات الكثيرة فالبرغم من أن تفاعل الحديد مع الكبريت سريع وكذلك احتراق الألمنيوم إلا أن هذه التفاعلات ليس انفجارية لعدم خروج غازات من هذين التفاعلين وتعتبر تفاعلات عادية.



الاشتعال الوميضي والاشتعال المدوي

عند تغيير الظروف التي يتم فيها التفاعل وخاصة درجة الحرارة والتركيز أو الضغط أو أي شرط آخر عند ذلك يمكن لأي تفاعل أن يكون متفجرا أو غير متفجر وذلك عن طريق التحكم في السرعة الانفجارية التي يكون فيها الزمن قصيرا جدا بحيث أن حرارة التفاعل لا تستطيع أن تنتقل إلى الوسط الخارجي بالتناقلية والإشعاع مما يجعلها تتجمع في الغازات الناتجة على شكل طاقة حركية.

تعريفات

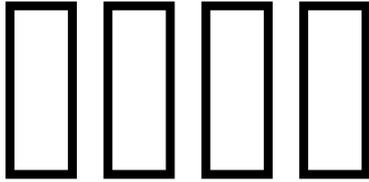
الاشتعال الوميضي: الانفجار يتم فيه بسرعة صغيرة وهو ليس بعملية بطيئة نسبيا فحسب بل هي كذلك سطحية وكيميائية بشكل واضح.

الاشتعال المدوي: الانفجار فيه يتم بسرعة كبيرة وسرعة الجزيئات الأولى المتحولة إلى غاز تكون كبيرة جدا إلى درجة تحمل معها حرارتها إلى باقي المتفجر الذي لم يصبح غازيا بعد، ونتيجة لذلك يتفكك المتفجر وتعود نتائج التفكك لتصدمه من جديد وهكذا تأخذ العملية مجراها بحركة موجية أطلق عليها اسم الموجة الانفجارية. وهكذا إذا أردنا الحصول على تأثير دفع باستخدام متفجر علينا أن نجعله يشتعل وميضاً. أما عندما نريد الحصول على التخريب والتدمير فمن الضروري تفكيكه على شكل اشتعال مدو وهكذا فيمكن

للمتفجر نفسه أو الخليط أن يشتعل اشتعالاً وميضاً أو مدوياً بمجرد تغيير شروط الاشتعال. وهناك مركبات (أو خلائط) محضرة بشكل خاص من أجل الاشتعال الوميضي وهذه أطلق عليها اسم بارود. بينما المواد التي تشتعل مدوية أطلق عليها اسم متفجرات.

فالمتفجر: هو كل مادة أو خليط قادر على التفاعل في زمن قصير جداً بشكل ناشر للحرارة منتجا كمية كبيرة منها بحيث تكون المواد النهائية للتفاعل في مجملها أو على الأقل جزء كبير منها مواد غازية وبحيث تجتمع هذه الحرارة مع الغاز لتكوين طاقه حركيه تتحول إلى عمل ميكانيكي.

ونفهم من هذا أن الظروف التي يتم فيها التفاعل (الزمن، الحرارة، الصعق، الضغط وغيرها ..) لها أهميته كبيرة في التأثير على نتيجة التفاعل.



تصنيف المتفجرات

تصنف المتفجرات حسب ما يلي:

حسب طبيعة نواتج الاحتراق

- 1 - متفجرات ذات تحول غازي تام حيث لا تترك نواتج احتراق صلبة.
- 2 - متفجرات ذات احتراق تام حيث تتحول العناصر المكونة لها إلى أعلى حالة أكسدة.
- 3 - متفجرات بادئة (محرضة) وتستعمل لتفجير غيرها.
- 4 - متفجرات أمان حيث نواتج الانفجار منخفضة الحرارة.

حسب طبيعتها:

- 1- متفجرات صلبة : مثل TNT، RDX ، حامض البكريك.
- 2- متفجرات عجينية : مثل الجلجيت ، C_3 ، C_4 .
- 3- متفجرات سائلة : مثل نيتروبنزين ، نيتروجليسرين ، نيتروميثان.
- 4- متفجرات غازية : مثل غاز الميثان (غاز الطبخ) (CH_4) ، غاز الهكسوجين.

حسب استخدامها:

- أولا :** متفجرات محرضة: وظيفتها تحريض غيرها من المتفجرات وهي أكثر المواد حساسية وهي حساسة للصدم والاحتكاك والحرارة ومفعولها التخريبي ضعيف . وتستخدم في صناعة الصواعق كبادئ للعملية الانفجارية ومن أهمها فلمنات الزئبق ، أزيد الرصاص ، أزيد الفضة ، بروكسيد الهكسامين ، بروكسيد الأستون.
- ثانيا :** متفجرات قاصمة : تتميز بقدرتها على التدمير و تستخدم في أعمال التخريب المباشر وهي أقل حساسية من المواد المحرزة وتنقسم بدورها إلى ثلاثة أقسام:
- أ- **شديدة الفاعلية :** وتسمى متفجرات منشطة حيث تقوم بتنشيط الموجة الانفجارية المتولدة من المواد المحرزة وتقويتها لكي تكون قادرة على تفجير الشحنة الأساسية مثل : RDX ، تتريل ، حامض البكريك ، C_3 ، C_4 وتستخدم في الصواعق(منشطات) كذلك تستخدم في صناعة الفتائل الصاعقة و أحيانا تكون حشوة رئيسية في بعض الألغام والقنابل ، كذلك تخلط مع المتفجرات المتوسطة الفاعلية، و أحيانا تستخدم كحشوة رئيسية.
 - ب- **متوسطة الفاعلية :** وهذا النوع هو الأكثر شيوعا واستخداما وهو المعتمد عليه في معظم التفجيرات مثل الديناميت بأنواعه والبلاستيك المتفجر ، TNT .
 - ج- **منخفضة الفاعلية :** وهي عبارة عن أملاح ومن أهمها خليط أنفو ANFO . وبصفة عامة تحتاج هذه المتفجرات إلى شحنة متوسطة الفاعلية .

ثالثا : متفجرات للحرارة والإضاءة : مثل مسحوق المغنسيوم مسحوق الألمنيوم ومسحوق النحاس وجميعها تستعمل لرفع الحساسية للخليط المتفجر أثناء الانفجار وإنتاج حرارة وإضاءة بعد الانفجار غير أن المغنيسيوم يعطي إضاءة أكثر من الحرارة ولذا يستخدم في صناعة القنابل المضيئة أما الألمنيوم فعلا العكس فهو يعطي حرارة أكثر من الإضاءة .

رابعا : متفجرات دافعة : مثل وقود الصواريخ السائل ، البارود ، النيتروسيلولوز وتستخدم لدفع الصواريخ والقذائف والطلقات كذلك يمكن أن تستخدم كمادة قاصمة .

حسب تركيبها

1- مركبات كيمائية : هي عبارة عن مواد كيمائية تتحد مع بعضها البعض وتتفاعل لينتج عنها مركبات كيمائية جديدة لها خصائصها الخاصة بها حيث تفقد كل من المركبات الداخلة في التفاعل خصائصها الأولية . مثل TNT .

2- مركبات فيزيائية : وهي عبارة عن مواد يمتزج مع بعضها البعض ليكون خليطا حيث تحتفظ كل مادة بخصائصها الأولية، مثل الديناميت الذي يتكون من نيتروجليسرين ونشارة الخشب ورمل وفحم ، ومثل البارود الأسود ويتركب من نترات البوتاسيوم وفحم نباتي وزهر الكبريت .

حسب سرعتها:

1- المتفجرات البطيئة : وسرعة انفجار هذه المواد اقل من 1.000 م/ث مثل البارود الأسود وسرعته التقريبية 400 م/ث وتستخدم المتفجرات البطيئة كحشوة دافعة .

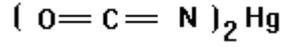
2- المتفجرات السريعة : وسرعة انفجارها اكثر من 1.000 م/ث ويستخدم هذا النوع للتدمير والتحطيم مثل الديناميت وسرعته (7240 م/ث) .

تأثير الأكسجين في المتفجرات

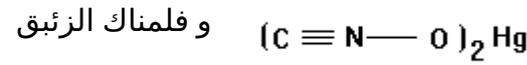
لكي تحدث الأكسدة في المتفجر لابد من وجود الأكسجين بحيث يؤكسد الأكسجين الكربون والهيدروجين إذا توافرت بنسب معينة ولنسبة الأكسجين هذه أهمية لكن ليست كبيرة حيث أنه من المعلوم انه ليس من المحتم في كل تفاعل أكسدة واختزال وجود ذرة أكسجين ومثال على ذلك وجود جزيئات متفجرة لا يوجد الأكسجين في تركيبها مثل الازيدات والاستليدات والنيتريدات فهي تتفاعل وتنفجر عن طريق الأكسدة والاختزال الإلكتروني وهذا الكلام عام حيث أنه لابد في كل انفجار من وجود ذرة على الأقل تتأكسد (أي تتخلى عن بعض الإلكترونات) وأخرى تختزل (أي تستولي على هذه الإلكترونات).

السبب المهم في قوة المتفجر هو سرعة الانفجار وهذا السبب مستقل عن وجود الأكسجين والدليل على ذلك وجود مواد غنية بالأكسجين لكنها بطيئة الانفجار مثل الأملاح

(النترات) وكذلك وجود مواد فقيرة بالأكسجين مثل جميع مركبات النيترو العظمية (RDX, TNT التترايل ...) لكنها سريعة الانفجار. وهكذا فان المطلوب الحقيقي من المتفجر هو سرعة التفاعل وليس الكمون (وفرة الأكسجين). ويجب أن نعرف أيضا أن النسبة المئوية للأكسجين التي تحدثنا عنها من قبل ليست وحدها التي تؤثر لكن الموضع الذي يشغله الأكسجين يؤثر أيضا وهناك مثال على ذلك:



أن ايزوسيانات الزئبق

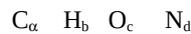


مركبان متماثلات في التركيب وعدد ذرات العناصر، فالأول يستخدم في التعقيم وقتل الجراثيم والثاني متفجر بادئ شديد الحساسية وفي الحقيقة أن موضع الأكسجين له تأثير كبير في هذا الاختلاف فان ارتباط الأكسجين بالنتروجين (في فلمنات الزئبق) اكثر استعدادا للتفلق أو الانزلاق منه في ايزوسيانات، من اجل ذلك تعتبر ايزوسيانات اكثر

استقرار. معادلات التفجير

1 - معادلة الاحتراق التام:

عندما تكون نسبة الأكسجين الموجودة في الجزيء المتفجر كافية لتحتوي كل الكربون ألي ثاني أكسيد الكربون (CO_2) وكل الهيدروجين إلى ماء (H_2O) عند ذلك يوصف المتفجر انه ذو احتراق تام وسوف تتحرر طاقته العظمى الكلية المتناسبة مع كمية الكربون والهيدروجين الموجودة ولما كان النتروجين حامل للأكسجين من حامض النيتريك فان الصيغة العامة لأي مادة متفجرة تكون:



حيث: α, b, c, d عدد ذرات كل عنصر على الترتيب والتي تكون معادلة انفجاره هي:

حيث تكون علاقة عدد ذرات الكربون () وعدد ذرات الهيدروجين (b) مرتبطة بعدد ذرات الأكسجين (c) بالعلاقة الآتية:

$$C = 2\alpha + \frac{b}{2} \quad (1)$$

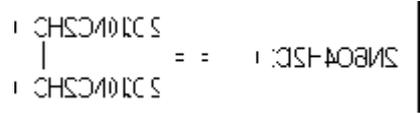
وهذه العلاقة تسمى ميزان الأكسجين ويمكن حسابه لأي مادة متفجرة عن طريق التعويض في العلاقة السابقة.

ملاحظة:

لاحظ من خلال العلاقة (1) أن طرفيها يمثل عدد ذرات الأكسجين وقد أوضحت ذلك بكتابتها بالخط العريض.

وخير مثال يدل على معادلة الاحتراق التام هو ثنائي

نيتروجليكول



والذي معادلة انفجاره هي:



حيث أن :

$$d=2, \quad b=4, \quad \alpha=2, \quad c=6$$

وبحساب ميزان الأكسجين له.

$$C = 2\alpha + \frac{b}{2}$$

$$C = 2 \times 2 + \frac{4}{2} = 6$$

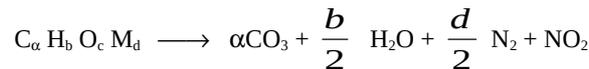
في هذه الحالة يكون ميزان الأكسجين لثنائي نيتروجليكول يساوي صفر.

2 - معادلة احتراق المواد التي عندها وفرة في الأكسجين

في هذه الحالة تكون:

$$C = 2\alpha + \frac{b}{2}$$

وتكون معادلة انفجاره هي:



فمثلا معادلة انفجار النيتروجليسرين هي:



وميزان الأكسجين له:

$$C: 2\alpha + \frac{b}{2} = 9 : 2 \times 8.5 = \frac{5}{2} + 3$$

$$C > 2\alpha + \frac{b}{2} \quad 9 - 8.5 = \frac{1}{2} > 0$$

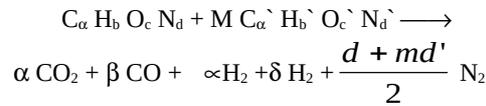
وفي هذه الحالة يقال أن النيتروجين يتمتع بوفرة في الأكسجين قدرها (0.5) ولكي نحصل على O_2 وهو الأمر الطبيعي لتواجد الأكسجين نضرب في 4 ولهذا فإن المعادلة السابق مضروبة كلها في 4

$$4 \times 0.5 = O_2$$

وهذا الصنف ذو فائدة عظيمة لأنه يسمح بتحضير خلائط ذات احتراق كلي وذلك بإضافة مواده بنسب ملائمة إلى مواد أخرى فقيرة بالأكسجين وسوف يوضح الخليط القادم أن شاء الله تعالى هذا المثال ابلغ توضيح.

معادلة احتراق المواد التي عندها نقص في الأكسجين وكيف يمكننا معالجة ذلك.

ينتج في التفاعل الرئيسي للانفجار ذي الاحتراق الناقص ثاني أكسيد الكربون ($CO_2 \uparrow$) وأكسيد الكربون ($CO \uparrow$) والميثان ($CH_4 \uparrow$) والهيدروجين ($H_2 \uparrow$) والازوت ($N_2 \uparrow$) وآثار من أكسيد الازوت ($NO \uparrow$) ولكن التحليل الكيميائي لا يدل على وجود الميثان بل على وجود الماء (H_2O) هذا ويمكن تمثيل الأجراء الكلي لانفجار خليط ذي احتراق جزئي بالمعادلة التالية:



$$\alpha + m\alpha' = \infty + \beta \quad \text{حيث}$$

$$b + mb' = 2(\infty + \delta)$$

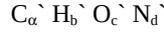
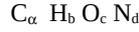
$$c + mc' = 2\alpha + \beta + \delta$$

ولا يمكن حل هذه المعادلات الثلاثة التي بها مجاهيل أربعة إلا بوجود معادلة رابعة وهي معادلة التوازن بين تركيزي أكسيد الكربون والماء من جهة وتركيز ثاني أكسيد الكربون والهيدروجين من جهة أخرى.

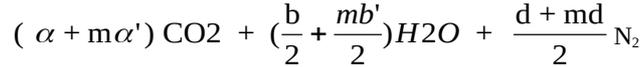
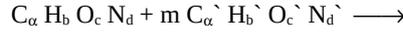
$$K = \frac{[CO][H_2O]}{[CO_2][H_2]}$$

حيث K ثابت التوازن وهي تابعة لدرجة الحرارة وقد بحث عن قيمة هذا الثابت حتى درجات حرارة متزايدة حتى $T=1600$ فكانت $K=4.24$ وهذه الدرجة منخفضة جدا عن جميع درجات الانفجارات (T) في الديناميت الغازي (T) 3185 في البارود الأسود (3218) لذلك نستخدم قيم تقريبية (K) لتكوين خلائط متفجرة ذات احتراق تام حيث أحدهما عنده نقص بالأكسجين

والآخر عنده وفرة في الأكسجين تسد هذا النقص. فلكي يكون احتراق الخليط للمتفجرين (غالباً ما يكونا عضويين) صيغتهما العامة هما:



لكي يكون احتراقاً كاملاً ينبغي أن ينفجر حسب المعادلة العامة التالية:



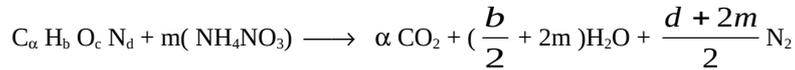
حيث m عدد جزيئات المتفجر الثاني الذي يوافق جزيئاً واحداً من المتفجر الأول، وفي التفاعل السابق ينبغي أن تتحقق المعادلة الوزنية التالية:

$$C + mc' = 2(\alpha + m\alpha') + \frac{b + mb'}{2}$$

وهي تعني تساوي ذرات الأكسجين في طرفي المعادلة وبفك الأقواس وإيجاد قيم m تساوي

$$m = \frac{2\alpha + \frac{b}{2} - c}{c' - \alpha 2' - \frac{b'}{2}}$$

واليك مثال على ذلك خليط مركب عضوي ناقص الأكسجين مثل TNT وملح معدني مثل نترات الامونيوم (NH_4NO_3) عنده وفرة في الأكسجين. ينفجر هذا الخليط حسب المعادلة التالية (عامة)



أما بالنسبة لـ TNT فإنه يمثل مركب ناقص الأكسجين ومعادلة انفجاره هي:



(حيث يتبقى الكربون الصلب بدون أن يؤكسد أكسجين لعدم توفره وهو الذي يسبب الدخان الشديد الأسود المميز للاشتعال المدوي لجميع مركبات العظمية المنتجة).

ولهذا يمكننا خلط (TNT) بنترات الامونيوم كما ذكرنا من قبل لتعويض نقص الأكسجين وذلك بنسبه وزنية موافق للأكسدة الكلية وتحسب من العلاقة:

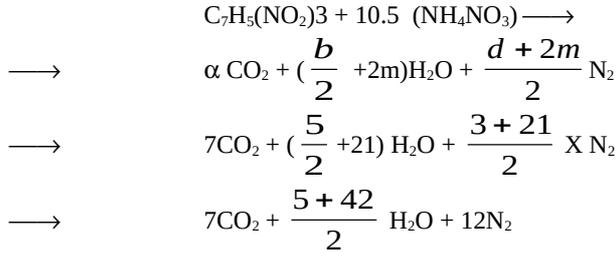
$$m = \frac{2\alpha + \frac{b}{2} - c}{c' - \alpha 2' - \frac{b'}{2}}$$

$$= 2\alpha + \frac{b}{2} - c$$

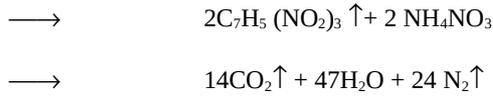
$$1 = \frac{b'}{2} - c' - 2\alpha \quad \text{حيث للنترات}$$

$$m = 2 \times 7 + 2.5 \times 6 = 10.5$$

وبذلك تكون معادلة الانفجار بالشكل التالي:



وبضرب طرفي المعادلة بالعدد 2



وهي معادلة المتفجر المسمى تجاريا النيتراميتا والذي يوافق النسبة 20% ((TNT إلى 80 % نترات أمونيوم.

وبتطبيق العلاقة لنترات الامونيوم

$$\begin{aligned} \text{الوزن الجزيئي} & = 1680 \times 80 = \text{عدد الجزيئات في المعادلة} \times 21 \\ \text{وبتطبيق العلاقة لل (TNT)} & = (72 + 5 + 42 + 96) \times 2 = 215 \times 2 = 430 = 1 \end{aligned}$$

∴ تكون العلاقة بين نترات الامونيوم الى ال TNT

$$430 \quad 1680$$

$$1 \quad : \quad 4$$

وهذا يعني نفس النسبة .

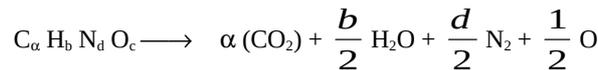
تعريف ميزان الأكسجين:

تطلق عبارة ميزان الأكسجين على الزيادة أو النقص في الأكسجين التي يحويها متفجر كيميائي معبرا عنه بالنسبة المئوية من وزنه الجزيئي. ولذلك فان ميزان الأكسجين في متفجرات الاحتراق الكلي (مثال ثنائي نيتروجليكول) تساوي صفرا.

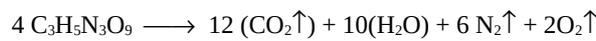
ويكون موجبا في المتفجرات التي فيها وفرة في الأكسجين (مثال النيتروجلسرين).

ويكون سالبا في المتفجرات التي فيها نقص في الأكسجين مثل TNT))

مثال لحساب ميزان الأكسجين للنيتروجلسرين المعادلة العامة هي:



∴ معادلة النيتروجلسرين هي:



4 جزيئات من نيتروجلسرين تنتج جزيئين من الاكسجين (O₂)

∴ 4 جزيئات من نيتروجلسرين

$$= 2 \times 16 (\text{الوزن الجزيئي للاكسجين})$$

$$32 =$$

∴ كم تعادل الوفرة بالأكسجين في جزيء NG الواحد ؟

$$\frac{1 \times 32}{4} = 8$$

∴

في ميزان الأكسجين للنيتروجلسرين حسب التعريف يكون:

$$\frac{100 \times 8}{227} (\text{الوزن الجزيئي للنيتروجلسرين}) = 3.52\%$$

العوامل الأخرى المؤثرة في الانفجار

لان الانفجار إجراء كيميائي فهو يخضع لقوانين الكيمياء العامة ولكي يحدث احتراق لابد من اجتماع الوقود والحارق والتسخين إلى درجة حرارة الالتهاب ويتوقف كذلك على الضغط والتركيز وهكذا كلما أثرنا على الشروط البدائية يمكننا توجيه الانفجار حسب رغبتنا من حيث جعله احتراق بطيء أو عادي أو اشتعال ومبضي أو مدو.

1 - النسبة المئوية لمكونات الخليط:

إن هذه النسبة بين الوقود والحارق هي عامل يؤثر على سرعة التفاعل وتأخذ على ذلك مثال: انفجار غاز الميثان مع الهواء ولكي يتم هذا الانفجار لابد أن تكون عدد جزيئات الوقود (الميثان) والحارق الأكسجين كافيا وبحيث انهما يكونان متقاربان حتى يتم الالتهاب بغير تأخير أما في حالة ما إذا كانت جزيئات الميثان منتشرة في الهواء ومتباعدة عن بعضها ومفصولة بجزيئات الازوت والأكسجين فان عملية الاحتراق لا يمكن أن تنتشر إلا بصعوبة كبيرة وببطء يستحيل معه تشكل الموجة الانفجارية المطلوبة.

وهكذا حتى يتمكن الاحتراق من الانتشار لابد أن يكون تركيب الخليط موجود بنسب معينه ومحصور بين هذه النسب التي تسمى حدي الالتهاب وهما يتوقفان على عدد من العوامل مثل الضغط ودرجة الحرارة الابتدائية لمكونات الخليط وحجم الحيز وسطحه وشروط التبريد واتجاه انتشار الأجزاء على طول الخليط.

2 - درجة الحرارة والضغط:

تزداد سرعة الاحتراق بازدياد الضغط ودرجة الحرارة فان هذه السرعة تتضاعف تقريبا كلما ازدادت درجة الحرارة 10°م درجات وتؤثر درجة حرارة جدران الوعاء الحاوي للانفجار تأثيرا كبيرا على سرعة الاحتراق فهي التي تسمح للاحتراق بالانتشار من طبقه إلى أخرى إلى أن يصبح الالتهاب في حالة اتزان.

وكذلك الضغط فكلما زاد الضغط كلما ازدادت سرعة الاحتراق وتؤثر قيمة في مجرى التفاعل بشكل مماثل بحيث يمكن بواسطة زيادة الضغط تحويل الاشتعال الومبضي إلى اشتعال مدو (نظرية الكبح).

3 - كثافة المتفجر δ:

كلما ازدادت كثافة المادة المتفجرة كلما ازدادت سرعة التفاعل وهناك فرق بين الكثافة المطلقة (أو الحقيقية) والكثافة الوزنية أما الأولى فهي كتلة وحدة الحجم من المادة المتفجرة التي لا يفصل الهواء بين دقائقها وتمثل بالرمز δ (دلتا).

أما الكثافة الوزنية فهي وزن لتر من المادة المتفجرة في الشروط العادية وتمثل بالحرف (d (density .
أما الأولى فهي تؤثر في سرعة الاحتراق وانتشاره داخليا والثانية تؤثر في الانتشار (خارجيا).

4 - كثافة الشحنة المتفجرة:

هي العلاقة الكائنة بين وزن المتفجر وحجم الحيز الذي يتم فيه الانفجار وتمثل Δ وتزداد سرعة وضغط الانفجار بازدياد كثافة الشحن وإذا كانت هذه الكثافة كبيرة (يعني عملية ضغط وكبس المتفجر داخل الحاوية شديدا) أمكن تحويل الاشتعال الوميضي إلى اشتعال مدو.

5 - الكايح:

هو تابع لطبيعة الوعاء الانفجاري وإحكام إغلاقه (ففي حيز جيد الإحكام وذو خواص مميزة ملائمة تحول دون تحطيمه قبل التحول الكلي للمتفجر إلى غاز يزداد الضغط بتقدم العملية الانفجارية ولما كانت السرعة تابعة للضغط فان ما يبدأ كاحتراق بسيط يمكن أن ينتهي كاشتعال مدو).

ومثال على ذلك عملية كبح البارود الأسود أو الرمادي أو الفضي أو غيره. ولا تستلزم جميع المتفجرات الكايح نفسه فمثلا فلمنات الزئبق تكتفي بالهواء الذي يحيط بها لتشتعل مدوية نجد البعض الآخر يتطلب عوائق معينة مثال ذلك النيتروجلسرين إذا طرقتنا جزء منه على سندان بمطرقة لا ينفجر منه شيء سوى القسم المطروق أما إذا غطينا النيتروجلسرين بصفيحة من الورق قبل صدمه فان كل كتلته تنفجر عند ما يتلقى ذلك القسم أو غيره الطريقة نفسها علما بان البارود الأسود وخليط الامونال يتطلبان كوايح عظيمة.

6 - الوساطة:

هي مواد تؤثر في سرعة التفاعل أما بالزيادة أو بالنقصان وهي بهذه الحالة تعادل رفع الحرارة أو خفضها أمثلة على ذلك :

1. وجود وسيط كالحامض داخل النيتروسيلوز يسرع من اشتعاله أثناء التخزين لذلك لا بد أن يخضع لمعالجات قبل حفظه.
2. لا بد أن تكون الكلورات خالية من اليودات لأنها تمثل وسط إيجابي بإمكانه التسبب في انفجار خليط الكلورات المسمى شديتا في درجة الحرارة العادية.
3. ويلعب نفس اليود وسيط سلبي في الخلائط الغازية المتفجرة (خليط الميثان مع الهواء) لذلك ينشر على هيئة رذاذ في أجواء المناجم للفحم لإبعاد خطر الانفجارات المدوية.

المميزات الكيميائية للمتفجرات المدمرة

كما عرفنا من قبل أن الانفجار ظاهرة احتراق سريعة جدا تحتوي دائما على وقود وواقد (مؤكسد) قد يكونان معا في الجزيء نفسه (المواد المتفجرة مثل TNT, RDX, تترايل ... الخ) أو في جزيئات مختلفة (خلائط) ففي الخلائط تستعمل النيترات والكلورات وفوق الكلورات وغيرها كمواقد مؤكسدة حيث أن المواد الانفجارية فيها (ماعدا الازيدات والفلمينات) تنتج من تفاعل حامض مع جزيئات عضوية (الهيدرو كربونات، الكحولات، الأمينات، غيرها...)

ويتفاعل حامض النيتريك ليعطي نوعين مختلفين من المركبات العضوية أحدهما ينتج من تثبيت الجذر الحامضي NO₂ في أكسجين الكحول الهيدروكسيلي مثل تفاعل حامض النيتريك مع الكحول الايثيلي



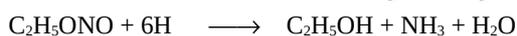
معطيا استرا نيتريا أو نيترات

وينتج النوع الآخر من تثبيت الجذر NO₂ على كربون الجزيء العضوي حسب التفاعل الآتي:

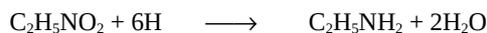


معطيا مركبات النترو.

وهناك مركبان متشابهان تماما من ناحية الصيغة الجزيئية المجملة نفسها ينتجان من كلا الفاعلين السابقين المتشابهين وهما استرالاثيل (C₂H₅ONO) والنترواثيل (C₂H₅NO₂) لكن يمكن التفريق بينهما بالتفاعل مع الهيدروجين المتولد إذن الاستيرات تعطي الكحول المتولد.



بينما ترجع مركبات النترو إلى الأمينات



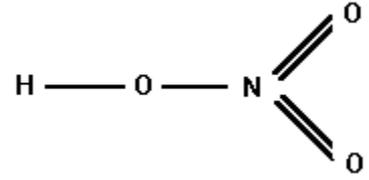
وكذلك يمكن التمييز بينهما في التفاعل مع القلويات فان الأسيرات تتفاعل معها هكذا:



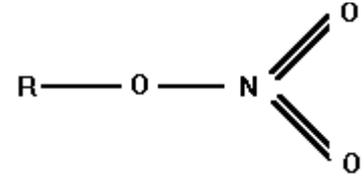
أما مشتقات النترو فلا تتفاعل مع القلويات. هذا ويمكن تحضير مركبات النترو بتفاعل مركبات يود الالكيل مع نيتريت الفضة بالترسيب والتبادل المشترك



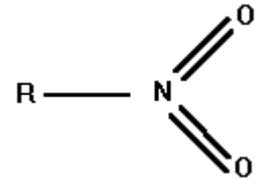
قاعدة عامة: إذا نشأت المواد المتفجرة من المعالجة الوظيفية العضوية بحامض النيتريك عن طريق سلسلة مفتوحة فهي استيرات مثل النتروجليكول، النيتروجلسرين وغيرها. أما إذا نشأت عن طريق سلسلة عطرية حلقيه فهي مشتقات نيترو مثل حامض البكريك والنتريل و TNT وخلافه.



ويمكن أن تكون الصيغة البنائية لحمض النيتريك هكذا

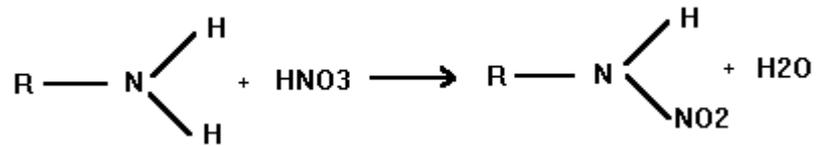


تكون النيترات العضوية (الاستيرات) فصيغتها هكذا



إما الصيغة العامة لمركبات النترو فتكون هكذا
حيث R تمثل هيدروكربون معين.

وهناك حالات خاصة في مركبات النترو ذلك عندما يرتبط جذر النيترو —NO_2 بذرة نتروجين بدلا من ذرة الكربون وتسمى هذه المركبات نيترو الأمينات مثال:



الاستقرار الكيميائي

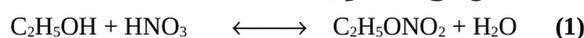
تعتبر مركبات النيترو اكثر استقرارا بكثير من مركبات الاستيرات. فان مركبات النيترو لا تتفاعل مع الهيدروكسيدات القلوية أما مركبات الاستيرات الحامضية فهي تتفاعل معها وتتصبن وتتحول إلى مكونات أخرى صعبة الإرجاع.

كذلك فان درجات بدء انفجار النيترات (الاستيرات) أقل من درجة بدء انفجار مركبات النيترو وهي اشد حساسية منها لذلك فهي تمتص في مواد مسامية أو تتهلمن. ويمكن تفجير الاستيرات بالمواد المحرصة فقط بينما مركبات النترو تتطلب مواد منشطة قوية حتى تشتعل مدوية والسبب في ذلك هو ان تفاعل الاسترة مع أنه ناشر للحرارة لكن نشره للحرارة ضعيف جدا إذ ان كل مجموعة نيترو مثبتة في الاسترات تنشر من 5 - 11 حرة بينما مجموعة النيترو المثبتة في المركبات العطرية تنشر 36 حرة. وكذلك حرارة التشكل لمركبات النيترو اكبر من حرارة التشكل لمركبات الاسترات وعلى هذا فأحادي النيترو اكثر ثباتا من أحادي النيترات (الاسترات) وكذلك البنية الجزيئية. كذلك فان وجود الأثار الحمضية في مركبات النيترات تعمل على تفكيكها بسهولة ويمكن بذلك ان تنفجر بينما مركبات النيترو لا تتعرض لهذا الخطر.

درجة النترجة : من الممكن تعدد مجموعة النيترو NO_2^+ في جزيء الاستر وهكذا يمكن الحصول على مختلف درجات النترجة مثل أحادي نترواتولوين وثنائي وثلثي التولوين وهم على الترتيب $(\text{C}_7\text{H}_7\text{NO})$ ، $[\text{C}_7\text{H}_6(\text{NO}_2)_2]$ ، $[\text{C}_7\text{H}_5(\text{NO}_2)_3]$.

وهكذا فان درجة نترجة الاستر أو أي مركب نيترو هي خاصية هامة تتوقف عليها كمية الأكسجين الفعال المتوافرة من اجل أكسدة الكربون والهيدروجين وتتوقف عليها كذلك الحرارة الناتجة من التفاعل هذا ويمكن عن طريق معرفة كميته ونسبه النتروجين الموجود في المادة مع بعض الاختبارات الفيزيائية البسيطة والسريعة مثل الكثافة ودرجة الانصهار التعرف على نوع المتفجر.

الدراسة الكيميائية للنترجة: كما عرفنا من قبل انه يوجد تفاعلين للنترجة أتحدهما تفاعل نترجة للاسترات الحامض مع الكحول.



وتفاعل النترجة للحصول على مركبات النترجة وذلك يتفاعل الحامض مع المركب الحلقي العضوي



وهذه العملية عملية النترجة تتوقف بعد قليل من البدء بسبب تساوي سرعتي التفاعل في الاتجاهين وبحسب ثابت التوازن K من قانون فعل الكتلة من معادلة رقم (1)

$$K = \frac{[\text{RONO}_2][\text{H}_2\text{O}]}{[\text{ROH}][\text{HNO}_3]} = \frac{\text{المواد الناتجة}}{\text{المواد المتفاعلة}}$$

(3)

ولكي يسير التفاعل في اتجاه واحد نزيد تركيز الاستر ليزداد التفاعل من اليسار إلى اليمين ولكي يتم ذلك لابد من زيادة كبيرة من حامض النيتريك أو الكحول (يتم هذا التفاعل مخبريا) وهذا في الحقيقة مكلف جدا أما بالنسبة للطريقة الصناعية فيتم تنشيط التفاعل كي يسير

في اتجاه واحد عن طريق سحب الماء كلما تكون وذلك عن طريق استخدام حامض الكبريتيك وتكون قيم التركيز $[RONO_2]$ كبيرا عندما يكون الماء اصغر قيمة وذلك واضح من الرجوع للمعادلة رقم (3)

وفي الحقيقة يوضع مع حامض الكبريتيك غاز $(SO_3\uparrow)$ ويسمى هذا الخليط خليط الاوليوم لاحظ ان خليط الاوليوم يتكون من غاز $(SO_3\uparrow)$ مع حامض الكبريتيك يضاف إلى حامض الكبريتيك الموجود في التجربة) وهذا من شأنه امتصاص الماء مانعا توقف التفاعل ألا إن كمية الاوليوم بلا ماء تقل حتى ينتهي التفاعل ومن المعلوم أن هذا الخليط وحامض الكبريتيك لا يشاركان في التفاعل ولا يكتبان في المعادلة الأصلية (بل يكتبان على السهم التفاعلي) فهو يعمل عمل الوسيط لتحسين الإنتاج ويتبقى الخليط الحامض بعد نهاية العملية ويستخدم في تسميد الأرض وصناعة السماد الكيميائي (سوبر فوسفات الكالسيوم).

وتجدر الإشارة إلى انه لا بد من عملية تنقية دقيقة للتخلص من الأحماض بعد عملية الإنتاج وذلك لتأمين استقرار الناتج ولتثبيته و إذا لم يتم التخلص من الحامض يتعرض مستقبل المتفجر إلى الخطر.

فيزياء المتفجرات (البيرو فيزياء)

هناك ثلاثة تأثيرات تظهر على وسط مقاوم عند ما تعمل فيه المتفجرات وهي الاجتثاث والتجزئة (التفتت) والانقذاف وهذه التأثيرات هي الغاية من حدوث الانفجار. إما بالنسبة للمطلوب الأول وهو الاجتثاث فغالبا ما يكون هو الغرض الأساسي إما عملية التجزئة فالمراد منها يختلف حسب الحاجة مثل قطع الرخام من الجبال، أو حصى الطرقات، أو التدمير وخلافه كذلك الامر بالنسبة للانقذاف فهو يراد منه دفع القذيفة وهذا يمكن حدوثه بطرق معينة واجهزة خاصة لحذف تأثيرها . الاجتثاث والتجزئة في بارود المدافع وخلائط وقود المحركات الانفجارية.

تأثير دفع القذف ويمكن استخدام خاصية الانقذاف في أغراض مدنية أيضا وعموما فان كل المتفجرات تتمتع تقريبا بالقدرات الثلاثة ولكن بنسب مختلفة.

والهدف الأساسي من هذا الفصل هو إخضاع هذه التأثيرات الثلاثة لوحدة قياس تجعل المقارنة التقنية بين المتفجرات سهلة جدا لكن يجب معرفة أن هذه الخواص ليست خواص داخلية فحسب في المادة بل هي أيضا خواص خارجية عنها ويمكن إدراك ذلك عند تفجير عدة شحنات متطابقة متماثلة لكنها تسبب تأثيرات مختلفة جدا في الأجسام المختلفة فمن هنا نفهم أن عمليتي الاجتثاث والتجزئة تتوقفان بالإضافة إلى خواص المتفجر ذاته إلى الخواص الميكانيكية للوسط المعتدي عليه أيضا إما خاصية القذف فهي خاصة في بارود القذف وخلائطه.

وعموما يبدأ الاجتثاث ثم يليه التجزئة ولا يبقى للقذف سوى الطاقة التي لم تستهلك في الأثرين السابقين وهكذا فليس هناك وحدات لقياس هذه الآثار الثلاثة. ولتقدير القيمة العملية

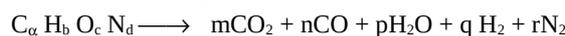
لها يمكننا اللجوء إلى أرقام أخرى أو ثوابت طبيعية تسمى المميزات النارية الساكنة للمتفجر ويقوم علم البيروفيزياء على حسابها نظريا وقياسها تجريبيا. ويجب ملاحظة أن هذه المتحولات مثل حجم الغازات والضغط والحرارة ودرجة حرارة الانفجار وغيرها هي نواتج متزايدة في مدى زمني يشمل أجزاء من المليون من الثانية في حالات الإشتعالات الداوية.

أولا: قياس الحجم النوعي (الناتج من الانفجار)

سوف نتعرف بإذن الله بعد ذلك على صفة سوف نسميها القوة النوعية ومعلوم أن هذه القوة تتناسب تناسباً طردياً مع الاجتثاث ويتحكم في هذه القوة عاملان الأول درجة حرارة الانفجار والثاني الحجم النوعي للمتفجر الذي رمزه (V_{ov}) .

ويعرف على أنه الحجم الذي تشغله الغازات الناتجة من انفجار كيلو غرام واحد من المتفجر في درجة الصفر المئوي وضغط عمود من الزئبق طوله 760 ملم.

لكن الحجم الجزئي الغرامي من أي غاز (في درجة الصفر وفي ضغط 760 ملم يساوي 22.4 لترا ولذلك فإن المعادلة العامة لمتفجر ذي تحول التام هي:



حيث r, q, p, n, m أعداد حقيقية

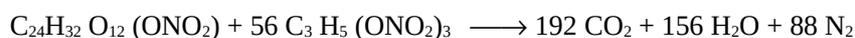
لذلك فإن الحجم الغازي الذي يعطيه المتفجر هو

$$V_{om} = (m + n + p + q + r) \times 22.4 \text{ مقطرة باللترات}$$

$$V_{oK} = \frac{V_{om} \times 1000}{P_m} \quad \begin{array}{l} 1000 \longrightarrow V_{oK} \\ P_m \longrightarrow V_{om} \end{array}$$

ويكون حجم الغازات الناتجة من واحد كجم من المتفجر على افتراض p_m هو الوزن الجزئي للمتفجر V_{oK} حيث:

واليك مثال على صمغ الديناميت ولإيجاد الحجم النوعي نكتب أولاً معادلة الانفجار



∴

$$V_{om} = (192 + 156 + 88) \times 22.4 = 9766.4 \text{ لترا}$$

الحرارة النامية
في التفاعلات

$$V_{oK} = \frac{V_{om} \times 1000}{P_m} = \frac{9766.4 \times 1000}{1008 + 12719} = \frac{9766400}{13720} = 711.8 \text{ لترا}$$

الانفجارية (كمية الحرارة الناتجة من الانفجار)

يمكن حساب هذه الحرارة بضرب حرارة تشكل الأجسام النهائية بعدد الجزيئات الغرامية لكل منها ثم جمع هذه الحرارة الجزيئية وطرح حرارة تشكل المتفجر منها ويمكن معرفة

حرارة التشكل من الجداول الحرارية الكيماوية الخاصة وتكون الحرارة الناتجة هي O_{mp} تحت ضغط ثابت هي الحرارة التي تبقى بعد ان يتحول جزء من الحرارة الناشئة إلى عمل ميكانيكي تمددي للغازات وذلك يتم أيضا بانخفاض ضغط الغازات من الضغط الابتدائي P إلى الضغط الجوي.

إذن

$$\text{الحرارة الناتجة} = \text{حرارة تشكل المتفجر} - \text{جميع الحرارة الجزئية الناتجة}$$

$$O_{mp} = Q_2 - Q_1$$

وتكون الحرارة الناتجة عن 1 كيلوغرام من المتفجر هي:

$$QKp = \frac{O_{mp} \times 1000}{Pm}$$

وإليك مثال على هذه العملية

احسب الحرارة الناتجة في متفجر (VAVIER) وهو خليط تام الأكسدة مكون من ثنائي نيتروالنفثالين مع نيترات الامونيوم أولا معادلة الانفجار هي:



ويحسب الوزن الجزيئي للمواد المتفاعلة فيكون:

$$X80 = 1738 \cdot 19 + 218$$

ولحساب قيمة (Q_2) بمعرفة حرارة تشكل كل من (CO_2) ، (H_2O) ، (N_2) من الجداول الحرارية

$$(1) \text{ حرة} = 3333 = (\text{غاز شامل}) = (10 \times 94.3) + (41 \times 58.3) + 0$$

وبحساب قيمة Q_1 وهي مجموعات حرارة تشكل المواد الداخلة في الانفجار

$$\text{حرة} = 1678 = 5.7 + (19 \times 88.6)$$

حيث - 5.7 هي حرارة تشكل ثنائي النفتالين.

ومن (1)، (2) يمكن حساب O_{mp} وهي:

$$\text{حرة} = 1655 = 3333 - 1678 = O_{mp} = Q_2 - Q_1$$

ومنها يكون O_{kp} لمتفجر فافير يساوي:

$$\text{حرة} = 925 = \frac{1655 \times 1000}{1738} = O_{kp}$$

ولمعرفة كمية الحرارة التي تنشأ في لحظة الانفجار وقبل ان تبدأ الغازات بالتمدد وهي التي تشير إلى قدرة المتفجر الميكانيكية ويرمز إليها بالرمز O_{mv} لابد من معرفة الحرارة تحت ضغط ثابت من اجل الحرارة التي تنشأ تحت حجم ثابت لجزيئي غرامي

$$\therefore Q_{mv} = Q_{mp} + C$$

حيث : Q_{mp} هي الحرارة التي تنشأ تحت ضغط ثابت.
 C : هي الحرارة المستهلكة في التمدد وهي نفسها الحرارة المتحولة إلى عمل عند التمدد وهذا حسب علاقة التحويل الآتية:

$$C = \frac{T}{425} \begin{matrix} \longrightarrow & \text{العمل} \\ \longrightarrow & \text{ثابت} \end{matrix}$$

وحيث ان العمل يساوي حاصل ضرب الضغط \times تغير الحجم

$$T = \int_{v_2}^{v_1} p dv = p \int_{v_0}^{v_1} dv = P(v_1 - 0)$$

حيث V_0 قيمة صغيرة جدا يمكن إهمالها بالنسبة لحجم الغازات الممتدة V_1 وهذا صحيح لجميع المتفجرات حيث:

$$\frac{V_1}{V_0} \approx 1000$$

وبهذا تهمل (V_0) أمام (V_1) وتكون

$$T = PV_1$$

وحيث ان:

$$V_1 = 22.4n (1 + 1/273 T)$$

T : هي درجة الحرارة المحسوبة فيها الجداول الحرارية وهي 15 م .
 n : عدد الجزيئات الغرامية للغازات الناتجة.

∴

$$\frac{T}{273} = \frac{15}{273} = 0.05$$

يعني كمية صغيرة جدا يمكن إهمالها وعند ذلك تكون:

$$T = 22.4 p.n$$

∴

$$C = \frac{T}{425} = \frac{22.4 pn}{425} = \frac{24.4 \times 10330}{425 \times 1000} = 0.544 n$$

[حيث ان : $\frac{10330}{1000}$ يعبر عن الضغوط المتعلقة بالمكافئ الميكانيكي للحرارة]

ومنه يمكن حساب الحرارة النامية لجزيء من ثنائي نيتروالنفثالين.

$$Q_{mv} = Q_{mp} + 0.544 n \text{ حرة}$$

وهي للكيلوغرام عند حجم ثابت

$$Okv = \frac{Q_{mv} \times 1000}{pm} \text{ حرة}$$

∴

$$Q_{mv} = 1655 + 0.544 \times 71$$

$$38.624 + 1655 =$$

$$1693 = \text{حرارة}$$

∴

$$Q_{kv} = \frac{1693 \times 1000}{1788} = 974 \text{ حرارة}$$

حساب درجة الحرارة

والمقصود منها هي درجة الحرارة الناجمة عن الانفجار وليست درجة الحرارة اللازمة لبدء الانفجار.

أما درجة الحرارة الناتجة عن الانفجار فقد أمكن قياسها نظريا ونعبر عنه T بالدرجات المطلقة هي:

$$T = t + 273$$

حيث:

$$t = t_1 + 15$$

حيث t_1 هي الزيادة عن الدرجة 15 وهي الدرجة التي حسبت فيها الحرارة النوعية في الجداول الحرارية

∴

$$T = t_1 + 273 + 15$$

ولما كانت الحرارة المنتشرة عن انفجار ما تساوي الحرارة النوعية C للأجسام مضروبة بالزيادة الحرارية t_1 أي أن:

$$Q_{mv} = C \times t_1$$

فانه يمكننا حساب قيم (t_1) إذا كانت C ثابتة لكن C تتغير أيضا حسب العلاقة:

$$C = \alpha + bt_1$$

حيث (α)

هي الحرارة الجزيئية في الدرجة 15، و (b) هي الازدياد الموافق لقفزة حرارية تعادل درجة مئوية واحدة وبالتعويض.

∴

$$1000 Q_{mv} = \alpha t_1 + bt_1^2$$

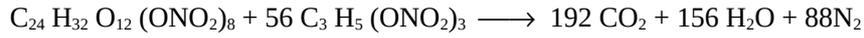
على اعتبار (Q_{mv}) مقدرة بالحرارة

$$t_1 = \frac{-\alpha + \sqrt{\alpha^2 + 4000bQ_{mv}}}{2b} \rightarrow 4000bQ_{mv}$$

ويمكن حساب t_1 حيث أنها معادلة من الدرجة الثانية علما بأن ($\alpha = 4.8$), ($b = 0.0006$) في الغازات ثنائية الذرة (O_2, CO, N_2, H_2)

ولقد افترضنا هنا ان ناتج الانفجار هو جزيئي واحد غرامي غازي لكن الواقع غير ذلك لذلك ينبغي ضرب قيم الثابتين b, α بعدد الجزيئات الغرامية الغازية ثنائية وثلاثية الذرة وجمع نواتج الضرب ولنضرب على ذلك مثلا بحساب الحرارة الناتجة من انفجار صمغ الديناميت الذي يتألف من 8.33% نetro سيلوز، 91.67% نيترو جلسرين ومن المعلوم ان معادلة الانفجار لصمغ الديناميت تنشر ($O_{mv} = 21450$) حرة.

أولا نكتب المعادلة:



ونبحث في الجداول عن قيم b, α لكل من الغازات السابقة فنجد:

$$\alpha = 4.8, b = .0006 \quad \text{ل } (N_2)$$

$$\alpha = 6.25, b = .0037 \quad \text{ول } (CO_2)$$

$$\alpha = 5.61, b = .0033 \quad \text{ول } (H_2O)$$

ثم نحسب α (تربيع α) لنواتج التفاعل

$$\alpha = (6.25 \times 192) + (5.61 \times 156) + (4.8 \times 88)$$

$$6235009 = \alpha^2$$

ونحسب b كذلك

$$b = (0.0037 \times 192) + (0.006 \times 88) = 1.278$$

ثم نعوض في العلاقة السابقة:

∴

$$t_1 = -2497 + \sqrt{\frac{6235009 + 4000 \times 1.278 \times 2450}{2 \times 1.278}}$$

∴ الوثبة :

$$t_1 = 3121 \text{ Centigrade}$$

أما درجة الحرارة الناتجة عن الانفجار تساوي

$$T = T_1 + 273 + 15 = 3121 + 288 = 3409 \text{ K KALVIN}$$

وللعلم فان درجات الحرارة الناتجة عن جميع المنفجرات متقاربة فمثلا هي للنيترو جلسرين 3780°C وهي للديناميت العادي 3137 وللبارود الأسود 3506 وعند ما استخدم نترات الامونيوم كعامل مؤكسدة في الخلائط تقلل درجة حرارة الانفجار بمقدار 1000 درجة. وهناك مثال آخر للمتفجرات ذات النواتج الصلبة التي لهذه البواقي الصلبة مضروبة في عدد الجزيئات الغرامية.

مثال: حساب درجة الحرارة الناجمة من انفجار الديناميت العاطل عيار 75% نيترو جلسرين

فان معادلة انفجاره هي



ولحساب α

$$\alpha = (6.25 \times 5.50) + (1.75 \times 4.80) + (11.4 \times 1.25) = 57.025$$

وقيم b

$$b = (0.0037 \times 5.50) + (0.0006 \times 1.75) = 0.0214$$

ومن المعلوم ان الحرارة (O_{mv}) الناشئة عن جزيء غرامي من النتروجلسرين عند حجم ثابت تساوي 388 حرة بالتعويض في العلاقة السابقة.

$$t_1 = \frac{-57.025 + \sqrt{(57.025)^2 + \sqrt{(4000 \times 0.0214 \times 338)}}}{2 \times 0.0214}$$

$$t_1 = 2859 \text{ درجة مئوية}$$

$$\therefore T = t_1 + 288 = 2859 + 288 = 3147 \text{ (KALVIN).}$$

بعض المعلومات والتعريفات المفيدة

1- من المعلوم أنه بتغير شروط وظروف التفاعل تتغير نواتج وقوة انفجاره أو احتراق التفاعل ولنضرب على ذلك عدة أمثله:

أ- تفاعل أول أكسيد الكربون مع الماء

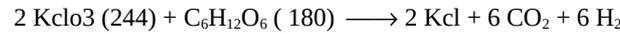
أولاً: تحت ضغط متوسط



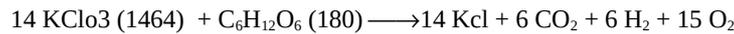
ثانياً: و تحت ضغط مرتفع (آي يتم التفاعل تحت ضغط مرتفع)



ب- ومن الأمثلة على ذلك وهي أمثلة عملية سوف تمر معنا في هذا البحث كثيرا هو تفاعل الكلورات مع السكر فعندما تكون نسبة الخليط متساوية تقريبا يكون التفاعل الناتج احتراقي



وعندما تكون نسبة الخليط تقريبا 1:9 يكون التفاعل الناتج انفجاري



وكذلك في تفاعل نترات الامونيوم مع بودرة الألمنيوم فعندما تكون النسبة بينهما بنسبه 80:

54

تكون المعادلة احتراقية اكثر من كونها انفجارية وعندما تتغير النسبة حتى تبلغ 9 نترات إلى ا بودرة الألمنيوم تكون المعادلة انفجارية ويكون الخليط كما اتضح عمليا أقوى فعالية من TNT وسوف يمر هذا معنا عند صناعة الخلائط ان شاء الله تعالى.

2- تعريف الكثافة الحدية العملية للشحن المتفجرة Δ

هي الكثافة التي يتم الحصول عليها عندما تكون الشحن المتفجرة ذات فراغ مملوء ووزن نوعي تكون معه سرعة الدوي أعظميه.

3- سرعة التفاعل الانفجاري:

ان سرعة التفاعل الانفجاري تكون أعلى بكثير من سرعة التفاعلات غير الانفجارية وهي مختلفة النسب إلى درجة يجري معها الشرط الثالث الضروري والكافي كي يكون التفاعل انفجاريا وهذه الشروط هي:

1. ان يكون التفاعل ناشرا للحرارة
2. ان يكون نواتج التفاعل في مجموعها أو على الأقل في جزئها الأعظم غازية.
3. ان يكون زمن التفاعل صغيرا إلى درجة كبيرة يكون معه الضياع في الطاقة (بلا شعاع والنقلية) في الوسط المحيط خلال فترة الانفجارية مهملا وهذه السرعة للتفاعل تكون كبيرة.

تعريف

كمون المتفجرات واستطاعتها:

يطلق الاسم كمون على العمل الأعظم الذي يمكن ان يقدمه كيلو غرام واحد من متفجر عندما تنتشر غازات انفجاره في الهواء عبر تمدد مضغوط غير محدود وهو يساوي:

$$W = Q_{kv} \times 425 = 0.425 Q_{kv} \text{ طونمترا}$$

وهذه كمية الحرارة الناشرة عند ثبات الحجم للكيلوغرام في الحقيقة فان الكمون عدد اصطلاحي يعطينا فكرة عن الكفاءة الميكانيكية لمتفجر وهذا العدد يعبر عن الطاقة الكلية وليست الطاقة التي يقدمها المتفجر فقط. إذ أنه من المعلوم ان قسم من الطاقة الانفجارية (مثل جميع العمليات الكيميائية) يقوم على تبخر الماء المتشكل عند الانفجار وهي التي تطرح عن الطاقة الكلية ولهذا فان الطاقة الحرة هي دائما اخفض من الكمون. أن الضغط والكمون مميزاتان من أهم مميزات المتفجرات المدمرة إذا تتوقف على الأولى قدره الاجتثاث وعلى الثانية قدرة الانطلاق.

ضغط غازات الانفجار

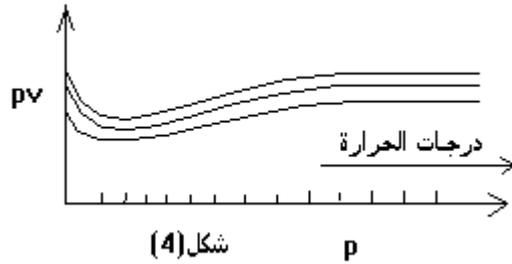
المعادلة العامة للغازات الحقيقية (قانون كلايرون)

$$P V = R T$$

حيث (P) (يعبر عن الضغط، V) (يعبر عن حجم الغاز، T) (يعبر عن درجة حرارة الغاز، R) ثابت.

لهذا القانون بعض العيوب منها هو تقلص الحجم بسبب زيادة الضغط حتى يصل إلى الصفر وهذا غير مقبول لأنه مهما ازداد اقتراب الجزيئات من بعضها فسوف يكون لها قطر وهو على الأقل عند التماس نصف قطر كريات المادة نفسها في التركيز الاعظمي والحجم الاصغري لكن الواقع لا يؤدي إلى ذلك حيث ان المواد ليست قادر على تحمل الضغط المرتفعة جدا لان توازنها الداخلي يتحطم عندما تتخطى الضغوط مقاومتها التكميية والعيب الآخر هو افتراض ان ليس بين الجزيئات تأثيرات متبادلة لكن لا يمكن قبول هذا الافتراض عند ما تكون الجزيئات قريبة من بعضها واجريت من اجل ذلك تجارب أثبتت ان الغازات لا تتمتع بقابليات انضغاط متماثلة وان درجة تلك الانضغاطية تتغير بتغير الضغط الذي يخضع له الغاز وهذا يشير ان حجم الغاز الظاهري يميل نحو حد معين ولتعيين هذا الحد درس امانات Amagat علاقة درجة الحرارة مع ضغط بعض الغازات مثل النتروجين والهيدروجين والاستيلين والكربون والميثان وجميع النواتج في مخططات (رسم بياني) تبين علاقة حاصل ضرب الضغط في الحجم (PV) مع تغيير الضغط في درجات الحرارة المختلفة .

وكانت النتيجة: هي خطوط مستقيم متوازية للهيدروجين تختلف باختلاف درجة الحرارة وان حاصل الضرب PV



يتناقص حتى حد معين كلما زاد الضغط حتى حد معين للغازات الأخرى ثم يزداد ويتحول إلى خطوط متوازية مستقيم إلى ما لا نهاية كما هو واضح في الشكل السابق (شكل رقم 4) ووجد ان معادلة أحد هذه الخطوط هي معادلة خط مستقيم ميله هو a و b هي نقطة النهاية الصغرى أو ترتيب بداية الخط وهذه المعادلة هي:

$$PV = \alpha p + b$$

ومنها :

$$\alpha = (d4)/(dx)$$

وإذا مر الخط المستقيم من المبدأ فان b = صفر

أي :

$$pv = p\alpha$$

أي:

$$\alpha = v$$

وحيث ان : (α) ثابتة لأنها ميل المستقيم فان الحجم يبقى ثابتا عند تغير الضغط ويمكن كتابة المعادلة

على الصورة الآتية:

$$p (v - \alpha) = b$$

وهذا يعني ان حاصل ضرب الضغط بالحجم منقوصا منه عدد ثابت يساوي عددا ثابتا آخر.
فانه عندما

$$(v - \alpha = 0)$$

عندها تصيح :

$$(p = \infty)$$

أي ان :

$$(v = \alpha)$$

وعندها يسمى هذا الحجم المرافق أي أن (α) هي الحجم المطلق للمادة أي الحجم الذي تنتهي اليه المادة فتنماس كريات الجزيئات تحت هذه الشروط في هذه العلاقة أوخذ بعين الاعتبار الضغط الخارجي الناتج عن اصطدام جزيئات الغاز بجدران الوعاء الحاوي له لكن هذه الجزيئات أيضا تخضع إلى قوانين التجاذب المتبادلة بينها لذلك ادخل العالم فاندرفاكس تعديلين على معادلة الغازات المثالية أما الأول فهو يتعلق بالتجاذبات الجزيئية المتناسبة عكسيا مع مربع الحجم والتعديل الثاني يتعلق بالحجم الكلي الذي تشغله الكتلة الغازية منقوصا منه حجم الغاز الحقيقي α .

وبهذا تكون المعادلة الجديدة هي:

$$(p + \frac{k}{v^2})(v - \alpha) = RT$$

حيث K ثابت نوعي يطلق عليه اسم التجاذب النوعي ومن هذه المعادلة

$$P = \frac{RT}{V - \alpha} - \frac{K}{V^2}$$

وقد كلوزيوس Clausius العلاقة التالية لقانون الغازات الحقيقية

$$P = \frac{RT}{V - \alpha} - \frac{\mu}{T(V - \beta)^2}$$

حيث α, β, μ , ثوابت صغيرة جدا.

ثم برهن سارو Sarrau أن هذه المعادلة السابقة توافق ما جاء به امانات من قبل ولهذا المقدار المنقوص من المعادلة ينعدم في درجات الحرارة المرتفعة وتصبح m صغيرة جدا وتصبح المعادلة

علاقة سارو كآلاتي:

$$P(V - \alpha) = RT$$

ولكن يمكن حساب قيم α وضع امانات هذه المعادلة بين ضغطين P_1, P_2 غير متباعدين

$$P_1 (V_1 - \alpha) = P_2 (V_2 - \alpha)$$

واستنتج من ذلك من اجل التطبيقات العملية لعلم المتفجرات أن الحجم المرافق لجميع الغازات هو جزء من ألف من الحجم النوعي في درجة الحرارة والضغط النظاميين طالما أن ضغط الانفجار لا يتعدى 4000 كجم / سم².

وبالنسبة لمعادلة سارو يمكن معرفة الضغط منها عند ثبوت الحجم وبعد معرفة T درجة الحرارة المطلقة وقد لجأ نوبل وأبل إلى قياس P مباشرة بتفجير كتلا مختلفة من المتفجر في مخابير متينة مجهزة بمقاييس ضغط مناسبة واستنتاجا ان الضغط مرتبط بالوزن النوعي للشحن وبالحجم المرافق بالعلاقة التالية والتي تبينها المعادلة المعروفة بمعادلة نوبل وأبل:

معادلة نوبل وأبل

$$P = K \frac{\Delta}{1 - \alpha \Delta}$$

حيث Δ الوزن النوعي (w/V) النسبة بين كتلة المتفجر معبرا عنه بالكيلوغرام وحجم الوعاء معبرا عنه باللتر وثبت صحة هذه المعادلة ومعرفة K تعود لمعادلة سارو

$$P = \frac{RT}{(V - \alpha)}$$

ولما كانت:

$$\Delta = \frac{W}{V}$$

فان:

$$\Delta = 1/V$$

لان:

$$W = 1$$

وبالتعويض في معادلة نوبل وأبل

$$P = K \frac{1}{V - \alpha}$$

وبمساواة الضغط في معادلة نوبل وأبل بالضغط في معادلة سارو ينتج ان:

$$K1/(V-\alpha) = PT/(V-\alpha)$$

أو

$$P = K = RT$$

ولنرمز له بالرمز F وحسب علاقة سارو فان:

$$F = RT/(V-\alpha) = F/(V-\alpha)$$

وعند فرض أن :

$$P=F \quad V-\alpha = 1$$

وتدعى F) القوة النوعية التي أشرنا إليها من قبل في صفحة 20 وهي مثل α خاصة مميزة لكل متفجر وهي تمثل الضغط الذي تطبقه وحدة كتلة المتفجر على الوعاء عندما تنفجر في وحدة من الحجم النوعي أي أنها الضغط الذي يطبقه 1 كغم من المتفجر عند دويه تحت حجم ثابت في مخبر سعته 1 لتر مضافا إليه الحجم المرافق المتفجر وهي ليست قوة بالمعنى الميكانيكي ولا يمكن التعبير عنها بالكجم الثقلي وفي الحقيقة:

$$F = RT = P' / (273) V_{ok} \times T \quad (1)$$

$$P' = 1.033 \quad \text{وحيث ان :}$$

$$F = 0.003785 V_{ok} T \quad \text{فان}$$

وعلى هذا فان أبعادها أبعاد طاقة حيث ان أبعاد الضغط هي $P' = F L^{-2}$ وأبعاد الحجم هي $V_0 = L^3$

وبالتعويض في العلاقة رقم (1) ينتج ان

$$XT / (273)](F = [(FL^{-2} \times L^3 \\ = L \cdot F = \text{مسافة} \times \text{قوة}$$

وتطابق قيمة F القيمة التي يأخذها الضغط عندما ينفجر واحدة كتلة المتفجر في وحدة حجم كتلة المتفجر في وحدة حجم من حيث ان هذا الحجم = حجم الوعاء - قيمة الحجم المرافق.

ويمكن كتابة معادلة نوبل وآبل على الصورة الآتية:

$$P = F \frac{F\Delta}{1 - \alpha \Delta}$$

والتطبيقات العملية دلت أن α تساوي جزءا من ألف من الحجم النوعي عند ما يكون المتفجر ذا تحول غازي تام وتساوي في البارود الأسود والمتفجرات التي تترك بقايا صلبة القيمة التالية:

$$\alpha = 0.001 V_{ok} + \alpha' \quad (3)$$

حيث: α' حجم هذه البقايا الصلبة.

أهمية F

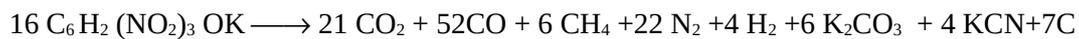
تعتبر القوة النوعية من أهم المميزات البيروستاتيكية في التطبيقات الصناعية والعسكرية وقد وضح أنها تتناسب طردا مع حجم الغازات الساخنة من العلاقة (2) ومن ثم تتناسب طردا مع العامل العائد إلى المتفجر الذي يؤثر في عملية الاجتثاث أي ان كمية المادة المخزنة تتناسب طردا مع القوة النوعية للمتفجر.

القيم العملية للحجم المرافق: وهو أنها في المتفجرات ذات التحول الغازي التام هي جزء من ألف من الحجم النوعي

أي:

$$\alpha = 0.001 \times V_{ok}$$

وحيث أن هذا الحجم هو الحجم الحقيقي الذي تشغله المادة فيجب إضافة حجم البقايا الصلبة اليه في المتفجرات التي تترك بقايا صلبة ويتم ذلك بمعرفة الحجم النوعية لكل مكون صلب وضربها بعدد الجزيئات وتجمع هذه الحجم مثال احسب الحجم المرافق لبيكرات البوتاسيوم أولا نكتب المعادلة:



وقد وجد من جدول الحجم النوعية لكل من البقايا الصلبة
0427 لترا من KCN , 0.060 لترا من K₂CO₃, 0.0054 لترا من C

ثم نسجل وزن 16 جزئيا من بيكرات البوتاسيوم.

$$P_m = 16 \times 267 = 4272$$

وحجم الغازات المنطلقة من 16 جزئيا من البيكرات في الشرطين النظامين.

$$V_{om} = (21 + 52 + 6 + 22 + 4) \times 22.4 = 2352 \text{ لترا}$$

ونحسب حجم الغازات الناتجة من 1 كجم من المتفجر

$$V_{ok} = \frac{V_{om} \times 1000}{16 P_m} = \frac{2352 \times 1000}{4272} = 550 \text{ لترا}$$

ونحسب α

$$\alpha = \frac{[(6 \times 0.06 + 4 \times 0.427 + 7 \times 0.0054) \times 1000]}{16 P_m} \\ = \frac{(0.568 \times 1000)}{4272} \\ = 0.133 \text{ لترا}$$

ونحسب قيمة α من العلاقة رقم (3)

$$\alpha = 0.001 \times 550 + 0.133 = 0.683$$

تفيد هذه الطريقة في حساب الحجم المرافق في الحسابات الأولية عند ما يكون الضغط

الأعظم محصورا بين 4000 - 1500 كجم/سم

ولابد من تحديد قيم α, F تجريبيا بكثافة شحنة هي الكثافة التي سيستعمل فيها المتفجر.

القيمة العظمى للضغط في الانفجارات:

الكثافة الحدية النظرية للشحنة: حسب علاقة نوبل وآبل

$$P = \frac{F \cdot \Delta}{1 - \alpha \Delta}$$

وتؤكد التجربة ان الضغط يزداد بازدياد كثافة الشحنة وخاصة عندما ينعدم المخرج سيؤول الضغط إلى ما لا نهاية وعندها تكون:

$$1 - \alpha \Delta = 0$$

أي:

$$1 = \alpha \Delta$$

أو:

$$\Delta = 1 / \alpha$$

لكن:

$$\Delta = W / V$$

وإذا كانت كتلة الشحنة تساوي الوحدة أي:

$$(w=1)$$

تكون :

$$(V=\alpha)$$

وهذا يعني ان ضغط الانفجار سيكون متناهيًا في الكبر عندما يكون المتفجر محصورًا في وعاء سعته تساوي سعة الحجم المرافق. ومن المعلوم ان الضغط له حد وإذا كانت كثافة الشحنة كبيرة بحيث يستحيل معها التحول الغازي فان المتفجر لا يدوي مهما كانت الإثارة الخارجية (قوة الصاعق والمنشط) عنيفة.

ان القيم العظمى للكثافة (Δ)

التي يمكن الحصول عليها عمليا عندما يدوي المتفجر في حجمه نفسه ولما كانت (α)

تتناسب طرديا مع (w) فان الضغط يزداد بازدياد الكثافة δ

المتفجر وهذا هو السبب في وضع الشحنات الانفجارية في قوالب حديدية بواسطة الضغط الشديد وبذلك يحصل لنا قيم عالية للضغط اكبر مما لو كانت الشحنات مسحوقة أو منصهرة وهذا مما يزيد الانفجار.

ولابد من معرفة الحقيقة الآتية وهي ان التحول الغازي يزداد صعوبة كلما ازداد الوزن النوعي وهذا يعني ان حساسية المتفجر تنقص بازدياد الكثافة وهكذا نجد ان TNT المطحون ينفجر بمحرض عادي (كثافته 1.54 جم / سم³) لكن إذا ضغط حتى تكون كثافته 1.69 جم/سم³ فأنها تحتاج عندئذ إلى منشط أو واسطة مؤلفة من المادة نفسها مسحوقة أو مصهورة وإذا ما زادت الكثافة اكبر من ذلك حتى انتشار الموجة الانفجارية مستحيلًا أي يصبح حجم الحبة اخفض من الحجم الحرج الذي يكون معه التحول الغازي ممكنا ولا يمكن في هذه الحالة تقوم العملية الانفجارية في داخل الحبة بل تصبح العملية سطحية ويتحول التفكك إلى اشتعال وميض.

ولنضرب مثلا على ذلك ان النتروسليوز الناتج من القطن يمكن ان يدوي في حالته الطبيعية لكنه يمتنع عن ذلك عند تحويله إلى هلام غروي بعجنه مع الأسيتون أو خليط من الاثير

الأثرى والكحول الايثيلي ان السبب في ذلك هو ازدياد δ

الكثافة ومن هنا أيضا لابد من تحويل المتفجرات المخربة إلى بودرة حتى نضمن تفجيرها.

الكثافة الحدية العملية للشحنة:

لما كانت القوة (وهي الغرض من استعمال المتفجرات) تابعة لسرعة الدوي فان خير ما يطلب منها يتم بالحصول على شحنات ذات فراغ مملوء ووزن نوعي تكون معه سرعة الدوي اعظمية وهذا ما يسمى بالكثافة الحدية العملية للشحنة. وهذه هي بعض التجارب ونتائجها للحصول على اكبر سرعة للدوي المنفجر.

جدول (1)

المتفجر	كثافة	سرعة م/ث
TNT	1.69	70000
ثلاثي نيترو الكريزول	1.62	6850
التترايل	631.	7210
النتريتا	1.71	8600
حمض البكريك	1.75	7650

فبهذا الوزن النوعي والفراغ المملوء (الذي يجعل Δ اعظمية) يجب شحن حفر الألغام للحصول على احسن التأثيرات.

الشذوذ الانفجاري:

عندما تكون كثافة الشحنة ذات قيمة عظمى تمتنع فيها المتفجرات عن الدوي ذلك حسب معادلة نوبل وآيل حيث:

$$P = \frac{F \cdot \Delta}{1 - \alpha \Delta} = \frac{FW}{V - \alpha W}$$

أي:

$$V - \alpha W = 0$$

أو:

$$V = \alpha W$$

ولما كانت:

$$W = V\delta$$

وبالتعويض ينتج أن:

$$\delta = \frac{1}{\alpha}$$

لكن قبل الوصول إلى هذه الأوزان الذرية المرتفعة جدا يلاحظ شذوذ بعض المتفجرات التي تنفجر في شحن مساوية للحد النظري أو أعلى منه مثل الفلمينات ونيترات الامونيوم والنيتروجلوسرين حيث :

المتفجر	الوزن النوعي	كثافة الشحنة Δ
الفلمينات	4.16	3.18
نيترات	1.71	1.4

إذ يتم الحصول بهذه الأوزان النوعية وكثافات الشحنة على اشتعالات داوية على عكس ما هو منتظر وتكون الضغوط المقاسة اقل مما يتم الحصول عليه بكثافات شحنة أخرى أكثر انخفاضا ويفسر هذا الشذوذ بكل بساطة أن تفكك المتفجر غير تام إذا لا يشتعل منه مدويا سوى كسر (س) من الشحنة (w) تكون معه الكثافة الحقيقية للشحنة التي يدوي فيها المتفجر اقل من السابق والله اعلم.

استطاعة (قوة) المتفجرات

سرعة الاشتعال الوميضي تتوقف على التركيز أي على ضغط الغازات ولما كان الضغط متحولا ومتزايدا فان السرعة:

$$V = F(P)$$

وتسمى السرعة التي يتم فيها الاشتعال الوميض للبارود في الضغط الجوي باسم السرعة النوعية لذلك السرعة في لحظة ما هي:

$$V = K \cdot p$$

حيث (K) هي السرعة النوعية و (P) الضغط في اللحظة المعتبرة وغالبا ما يستعمل تعبير السرعة الوسطي للاشتعال الوميضي (V_m) للتعبير عن السرعة التي يشتعل فيها المتفجر اشتعالا وميضيا في الضغط الوسطي (P_m) أي في ضغط ثابت يطابق في كمونه أو ساحة عمله كمون المتفجر أو ساحة عمله.

أي :

$$V_m = K \cdot P_m$$

مثال لحساب السرعة الوسطى لانفجار النيتروسيلولوز العادي

حيث:

$$K = P_m 50.0000099 \quad 200000 \text{ كغم} =$$

وبالتعويض ينتج:

$$x 0.0000099 = V_m 200000$$

1.98 =

$$= 0.198 \text{ دسم/ث}$$

أي ان سرعة تقريبا 200 م/ث .

لكن عند مقارنة سرعة الاشتعال الوميضي بسرعة الاشتعال المدوي يكون الفارق كبيرا حيث تنحصر سرعة الاشتعال المدوية للمتفجرات بين 3000 إلى 8000 م/ث أي أن هذه أكبر من الأولى بحوالي 10000 مرة وفارق آخر هو ان سرعة الاشتعال الوميضية تابعة للضغط بينما الاشتعال الداوي مستقل عن ذلك بل هو تابع لهذا القانون:

$$V = \sqrt{\frac{\delta E}{D}}$$

حيث (δ) هي أس الحجم في معادلة الغازات

$$PV^\delta = K$$

وهو عدد يتغير من متفجر إلى آخر وهو لا يساوي 1.4 بالضبط بل يساوي عددا اصغر بصورة عامة ويتغير حسب شروط الشحنة أما قيمة (E) (مرونة نواتج الاشتعال الداوي الغازية) فهي العلامة بين ازدياد الضغط وتقلص الحجم بإشارة سالبة لان هذين المقدارين في اتجاهين متعاكسين فعندما نرمز (dp) لازدياد الضغط تصبح المرونة من اجل الحجم (v) تساوي

$$E = \frac{-dp}{\frac{dv}{v}} = -v \frac{dp}{dv}$$

لكن:

$$P = \frac{F \cdot \Delta}{1 - \alpha \Delta}$$

وكذلك:

$$\Delta = \frac{1}{V} \text{ لوحة الحجم}$$

لذلك فان

$$P = \frac{F}{v - a}$$

وبالتعويض في (E) فان :

$$\frac{dp}{dv} = \frac{-F}{(v - \alpha)^2}$$

إذن:

$$\begin{aligned} E &= \frac{1}{\Delta} \times \frac{F}{v - \alpha} \\ &= \frac{1}{\Delta} \times \frac{F}{\frac{\Delta^2}{(1 - \alpha \Delta)^2}} \\ &= \frac{F \cdot \Delta}{(v - \alpha)^2} = \frac{F \cdot \delta}{(1 - \alpha \delta)^2} \end{aligned}$$

وبالتعويض في علاقة السرعة:

$$V = \sqrt{\frac{\delta E}{\Delta}} = \frac{\sqrt{\frac{\delta F}{\delta}}}{\sqrt{\frac{(1 - \alpha \delta)^2}{\delta}}} = \sqrt{\frac{\delta \cdot F}{(1 - \alpha \delta)^2}}$$

وهذا العلامة ليست لها فائدة كبيرة لأنه حتى تعرف سرعة دوي متفجر لابد من معرفة α الموافقة للضغط الحقيقي ومعرفة (δ)

الملائمة للعملية التي تحدث الاشتعال الداوي وهي تعطي قيمة منخفضة جدا لذلك تضرب في 2.

كمون المتفجرات واستطاعتها

تعريف الكمون:

$$W = Q_{kv} \times 425$$

$$= 0.425 \times Q_k \quad \text{طونمترا}$$

وهكذا يساوي كمون متفجر فافير بالطونمتر

$$W = 0.425 \times 977 = 515$$

وهكذا فان الكمون خاصية من خصائص الانطلاق أما الضغط فهو خاصية تتوقف عليها قدرة المتفجر على الاجتثاث فهو يلائم الاستعمالات الصناعية في المناجم والمقالع ففي هذه الحالة تستعمل متفجرات ذات ضغط كبير وكمون صغير يقوم على تجزئة الكتل الكبيرة من الصخور دون أن يحركها تقريبا. أما في الأغراض الحربية فتستعمل متفجرات ذات كمونات كبيرة تحمل شظايا القذائف إلى أماكن بعيدة.

أما زمن الانفجار (De) فهو الزمن الذي يستغرقه المتفجر في الانطفاء عندما يدوي بالسرعة v المحسوبة سابقا وهو يساوي المسافة مقسومة على السرعة وقد اصطلح من اجل مقارنة قدرة المتفجرات المختلفة على حساب (De) لمفرقة كروية وزنها 1 كجم ويبدأ الدوي من مركزها ولنرمز بـ (r) لنصف قطر تلك المفرقة وبـ v لسرعة دويها كان:

$$De = \frac{\text{المسافة}}{\text{السرعة}} = \frac{r}{v}$$

ولحساب r نرجع للعلاقة التي تربط بين حجم تلك الكرة والوزن النوعي والوزن

$$\delta = \frac{W}{V}$$

$$(1) \quad \therefore \text{الكجم} = \frac{3}{4} \pi r^3 \delta$$

$$\therefore \delta = \frac{\text{الكجم}}{\frac{3}{4} \pi r^3}$$

لكن :

$$2.4 = \frac{66}{28} = \frac{3}{4} \times \frac{22}{7} = \frac{3}{4} \times \frac{22}{7} = \frac{3}{4} \pi$$

من (1) وبالتعويض

$$\therefore 2.4 r^3 \delta = 1$$

$$\therefore \tilde{n}r = \frac{1}{\sqrt[3]{4.2\delta}} = \frac{1}{1.61\sqrt[3]{\delta}}$$

وبالتعويض عن قيم r في العلاقة السابقة

$$\therefore De = \frac{1}{V \times 1.61\sqrt[3]{\delta}}$$

ولابد أن نفهم أن المتفجرات تستعمل بصورة عامة من اجل الاستطاعة الحرة اكثر من استعمالها من اجل الكمون إذ يدخل في مفهوم الاستطاعة الحرة مفهوم الفعالية (القدرة على الاجتثاث).

وهكذا فان بتفجر فافير له كمون جيد غير أنه بطيء والمتفجرات البادئة أيضا بطيئة وضعيفة لكنها ذات كمون واستطاعة جيدة ومفهوم الاستطاعة في البيروستاتيكا هو نفسه مفهوم الاستطاعة في الميكانيكا أي أنها تساوي الطاقة لكل وحدة زمن.

$$\Pi = \frac{W}{De} =$$

$$\frac{\text{طونمتر}^2/\text{ث}}{\sqrt{\text{طونمتر}^3/\text{ث}}}$$

ومن هذا القانون تعرف أن الاستطاعة تتناسب طرذا مع الجذر التكعيبي للوزن النوعي ولهذه الخاصية أهمية كبيرة خاصة في المواد البادئة التي كثافتها كبيرة فهي ذات استطاعة كبيرة ويمكن تطبيق ذلك على فلمنات الزئبق مثلا أو أزيد الرصاص

$$\pi = 1.61V \times W\sqrt[3]{\delta}$$

حيث يتم حسابها بالتعويض في القانون وبالنسبة لصمغ الديناميت فهي

$$1.61 \times 6600 \times 212.5\sqrt[3]{1.5} = 2579000 \quad \text{طونمتر}^2/\text{ث}$$

القدرة على التدمير:

يمكن تطبيق العلاقة الآتية:

$$R = 10^{-6} \times F\delta \quad V$$

للحصول على عدد كبير يمثل كفاءة المتفجر على التجزئة (التدمير) الخاصة الثالثة وهكذا بالنسبة لسمع الديناميت أيضا تساوي

$$10^{-6} \times 9000 \times 1.5 \times 6600 = 89$$

أي أن قدرة سمع الديناميت على التدمير تساوي 89%

فهو عندما ينفجر في 400 غم من رمل منخول قطر ثقبه 8. ملجم فانه يمرر بعد الانفجار % 89 من الرمل المذكور من المنخل قطرة 5مجم والذي لم يكن يمرر منه شئ قبل الانفجار.

تم الباب الأول بحمد الله ويليهِ الباب الثاني أقسام المتفجرات